

PERBANDINGAN *POST STACK TIME MIGRATION* METODE *FINITE DIFFERENCE* DAN METODE KIRCHOFF DENGAN PARAMETER GAP DEKONVOLUSI DATA SEISMIC DARAT 2D LINE “SRDA”

Sheyza Rery Dynza Anggary, Hernowo Danusaputro dan Udi Harmoko

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: sheyzarda@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Analysis on Post Stack Time Migration (Post-STM) with finite difference method and Kirchhoff method with determine gap parameter on deconvolution after stack had been applied to 2D land seismic at line “SRDA”. This research had purpose to applied seismic data processing to get subsurface imaging with high signal-to-noise ratio and analyze how the gap parameter corresponding on deconvolution after stack, and to determine which the appropriate method of migration between migration finite difference and Kirchhoff migration in Post Stack Time Migration (Post-STM).

Gap parameter selected in the deconvolution process after the stack is a gap 24, 32 and 64. Based on the analysis of the three parameters were chosen gap 32 which has the best results because the gap 32 in accordance with the conditions of the data and the effect does not change the condition of reflectors on seismic cross section. While the migration phase, the results better structure when subjected Kirchhoff migration method, because it is more obvious than the reflector continuity migration finite difference method.

Keywords: *Deconvolution after stack, Post Stack Time Migration*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pada data seismic darat 2D line “SRDA” dengan penentuan parameter gap pada tahap dekonvolusi setelah *stack* dan *Post Stack Time Migration* (Post-STM) dengan metode *finite difference* dan metode Kirchhoff. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan setiap tahap pada *processing data seismic* agar didapatkan pencitraan struktur bawah permukaan dengan *signal to noise ratio* yang tinggi serta untuk menganalisa parameter gap berapa yang sesuai pada data pada tahap dekonvolusi setelah *stack* dan untuk mengetahui metode migrasi manakah yang sesuai antara migrasi *finite difference* dan migrasi Kirchhoff pada *Post Stack Time Migration* (Post- STM).

Parameter gap yang dipilih pada proses dekonvolusi setelah *stack* adalah gap 24, 32 dan 64. Berdasarkan analisa dari ketiga parameter tersebut dipilihlah gap 32 yang memiliki hasil paling baik karena gap 32 sesuai dengan kondisi data dan efeknya tidak merubah kondisi reflektor pada penampang seismic. Sedangkan pada tahap migrasi, hasil struktur lebih baik saat dikenakan migrasi metode Kirchhoff, karena lebih jelas kemenerusan reflektornya daripada migrasi metode *finite difference*.

Kata kunci : *Dekonvolusi setelah stack, Post Stack Time Migration*

PENDAHULUAN

Pengolahan data seismic bertujuan untuk menghasilkan penampang seismic dengan S/N (*signal to noise ratio*) yang baik tanpa mengubah bentuk kenampakan-kenampakan refleksi, sehingga dapat dilakukan interpretasi pada keadaan dan bentuk dari perlapisan di bawah permukaan bumi seperti apa adanya. Penampang seismic yang memiliki S/N *ratio* yang baik yaitu penampang seismic yang memiliki tingkat kejelasan pencitraan pada tiap reflektor [5].

Salah satu tahap pengolahan data seismic yang paling penting adalah tahap migrasi. Tahap migrasi bertujuan untuk dengan menghilangkan efek difraksi pada titik-titik diskontinuitas (patahan) dan memindahkan *events* lapisan miring pada posisi yang sebenarnya. Proses migrasi yang menghasilkan penampang migrasi dalam domain waktu disebut dengan *time migration* umumnya dapat berlaku selama variasi kecepatan secara lateral kecil hingga sedang dan proses migrasi dalam domain waktu yang dilakukan setelah *stack*

(*post stack time migration*) relatif lebih cepat dan efisien dalam pengolahan data seismik.

Metode migrasi dalam seismik yang digunakan ialah metode Kirchhoff yaitu penjumlahan amplitudo pada titik reflektor sepanjang lintasan pada lokasi yang sesungguhnya. Sedangkan metode *finite difference* merupakan suatu metode migrasi yang memanfaatkan pemecahan gelombang dimana dilakukan *downward continuation*[8]. Masing-masing metode migrasi tersebut menghasilkan pola pencitraan reflektifitas berdasarkan prinsip kerjanya. Hasil migrasi dengan menggunakan suatu metode kemungkinan masih ada reflektor yang tidak jelas pencitraan pola reflektifitas, maka dilakukan migrasi dengan dua metode untuk dapat saling melengkapi. Untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan dari metode migrasi Kirchhoff dan *finite difference* maka dilakukan perbandingan kedua metode tersebut dalam *Post Stack Time Migration* (Post STM).

Pengolahan data seismik dilakukan pada data seismik darat 2D sekunder *line* "SRDA" (bukan nama sebenarnya) yang didapatkan dari web www.geo.cornell.edu Metode pengolahan data yang dipilih adalah dengan melakukan tahap pengolahan data mulai dari konversi format, geometri, *preprocessing*, *main processing*, *post processing* dan di dalam tahap *post processing* dilakukan tes parameter pada proses dekonvolusi pada *stack* yang kemudian akan dilanjut sampai *Post-Stack Time Migration* dengan metode migrasi *finite difference* dan metode Kirchhoff untuk membandingkan hasil *stack* dalam domain waktu.

DASAR TEORI

Dekonvolusi

Dekonvolusi adalah suatu proses untuk menghilangkan pengaruh dari wavelet sumber dari suatu jejak seismik. Dekonvolusi adalah proses untuk meningkatkan resolusi temporal dari data seismik dan untuk menghilangkan atau mengurangi pengaruh *ground roll*, *multiple*, *reverbaration*, *ghost* serta memperbaiki bentuk *wavelet* yang kompleks, akibat pengaruh *noise*.

Proses ini merupakan penerapan dari invers filter karena konvolusi merupakan suatu filter. Bumi bertindak sebagai filter yaitu *low pass filter*, di mana sinyal impulsif dinamit diubah menjadi *wavelet* yang panjangnya sampai dengan 100 ms. *Wavelet* yang terlalu panjang mengakibatkan resolusi seismik turun sebab kemampuan membedakan dua peristiwa refleksi berdekatan menjadi berkurang.

Proses dekonvolusi menghasilkan deret *pseudo reflector* yang berupa deretan paku-paku (*spike*), di mana panjang paku menggambarkan nilai (besar) amplitudonya. Dapat disimpulkan bahwa proses dekonvolusi adalah proses untuk mengompres *wavelet* agar dapat memberikan daya pisah terhadap adanya perlapisan batuan dalam bumi pada penampang seismik[8].

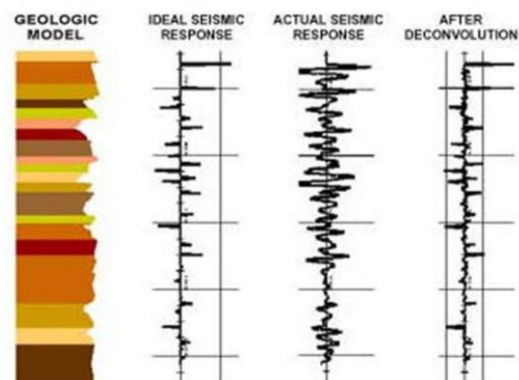
Persamaan sinyal yang tiba pada alat penerima dapat dirumuskan :

$$S(t) = W(t) * R(t) + N(t) \quad (1)$$

dengan : $S(t)$ = trace seismik

$W(t)$ = wavelet dari filter bumi

$R(t)$ = koefisien refleksi (respons impuls bumi)



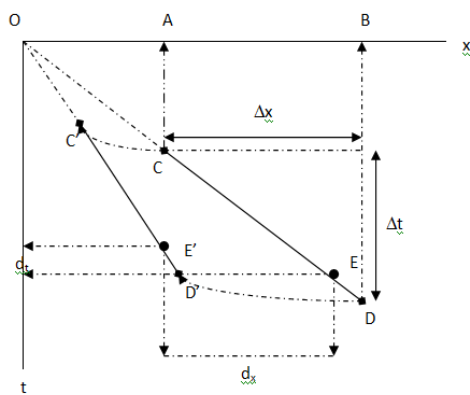
Gambar 1. Model umum dekonvolusi. Sedangkan arah sebaliknya adalah konvolusi[4]

Migrasi

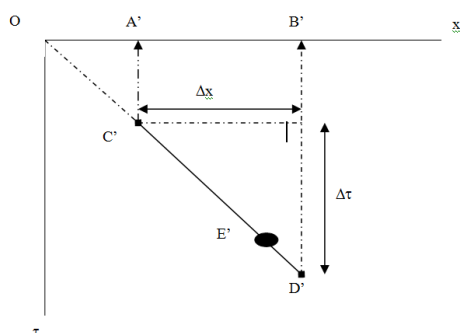
Sejak diperkenalkannya perekaman data seismik secara digital, maka proses pengolahan data seismik menjadi lebih mudah dan lebih cepat dilakukan. Ada tiga tahapan penting dalam pengolahan data seismik, yaitu: dekonvolusi, *stacking*, dan migrasi. Tahap

dekonvolusi dilakukan sepanjang sumbu waktu, tujuannya untuk meningkatkan resolusi dengan mengecilkan bentuk sinyal (*wavelet*). Tahap *Stacking* menyatukan dimensi *offset* atau penjumlahan *trace*, mengecilkan volume data ke dalam satu bidang pada *offset* nol, tujuannya untuk meningkatkan rasio sinyal terhadap *noise* (*S/N ratio*), sedangkan tahap migrasi umumnya diterapkan pada data yang sudah di-*stack* (ditumpuk), tujuannya untuk meningkatkan resolusi lateral dengan menghilangkan efek difraksi pada titik-titik diskontinuitas (patahan) dan memindahkan *events* lapisan miring pada posisi yang sebenarnya[8].

Prinsip dasar dari migrasi seismik dijelaskan pada gambar 2 dan 3. Asumsikan bahwa CD termigrasi ke C'D' (posisi yang sebenarnya secara geologi) dan titik E' pada C'D' hasil migrasi dari titik E pada CD.



Gambar 2. Skema proses migrasi



Gambar 3. Skema setelah migrasi

Dari gambar 1 dan 2 dapat diturunkan persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$d_x = \frac{V^2 t}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (2)$$

$$d_t = t \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V \Delta t}{2 \Delta x} \right)^2} \right] \quad (3)$$

$$\frac{\Delta\tau}{\Delta x} = \frac{\Delta t}{\Delta x} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V\Delta t}{2\Delta x}\right)^2}} \quad (4)$$

dengan dip (kemiringan) $= \frac{\Delta \tau}{\Delta x}$, dip semu =

$\frac{\Delta t}{\Delta x}$ (diukur dari *unmigrated time section*), t adalah *traveltime* (s), V adalah kecepatan migrasi (kecepatan medium), Δx adalah jarak dari titik A dan B, Δt adalah selisih waktu antara titik C dan D, d_x adalah *horizontal time displacements*, d_t adalah *vertical time displacements*, t adalah *event time* pada posisi yang belum dimigrasi, τ adalah *event time* pada posisi yang telah dimigrasi.

Proses migrasi yang menghasilkan penampang migrasi dalam kawasan waktu disebut migrasi waktu. Migrasi ini umumnya berlaku selama variasi kecepatan secara lateral kecil hingga sedang. Jika variasi kecepatan lateral besar, migrasi waktu tidak dapat menghasilkan gambar bawah permukaan dengan baik dan benar. Dalam hal ini perlu digunakan teknik migrasi kedalaman, dimana hasil migrasi kedalaman akan ditampilkan dalam penampang kedalaman. Dengan demikian, sebetulnya ada dua konsep migrasi yang utama dan dapat dibedakan dari proses migrasinya sendiri serta hasil akhirnya, yaitu migrasi waktu dan migrasi kedalaman[2].

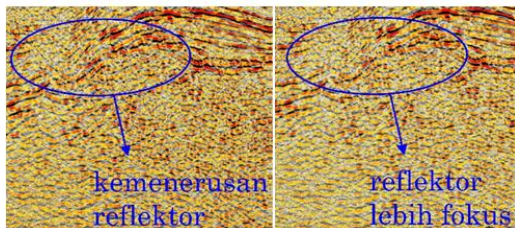
Migrasi data seismik adalah proses untuk memetakan satu penampang menjadi penampang yang lain. *Event-event* seismik dikembalikan posisinya pada tempat, lokasi, dan waktu yang sebenarnya. Keluaran dari proses migrasi merupakan suatu penampang waktu yang merepresentasikan keadaan geologi dalam penampang kedalaman. Sebelum

migrasi, penampang seismik hasil *stack* belum mencerminkan kedudukan yang sebenarnya. Hal ini disebabkan oleh rekaman yang ada belum sepenuhnya *normal incident* terutama pada kasus bidang reflektor yang miring [7]

Migrasi Penjumlahan Kirchhoff

Metode penjumlahan Kirchhoff (*Kirchoff Summation*) dilakukan setelah proses *stack*. Kecepatan yang digunakan adalah kecepatan *stack* yang telah di-*smooth* secara lateral. Keuntungan metode ini dapat meresolusi struktur dengan kemiringan yang curam. Kelemahan dari metode ini adalah tidak dapat dilakukan pada data dengan rasio S/N yang rendah atau data yang buruk.

Migrasi Kirchhoff atau biasa disebut juga migrasi penjumlahan Kirchhoff, disebut juga migrasi tipe difraksi, merupakan suatu pendekatan secara statistik dimana posisi suatu titik di bawah permukaan dapat saja berasal dari berbagai kemungkinan lokasi dengan tingkat probabilitas yang sama. Secara praktis migrasi Kirchhoff dilakukan dengan cara menjumlahkan amplitudo dari suatu titik reflektor sepanjang suatu tempat kedudukan yang merupakan kemungkinan lokasi yang sesungguhnya, berupa kurva difraksi[6].



Gambar 4. Model migrasi Kirchhoff(kiri) dan migrasi Finite Difference(kanan)[6].

Metode Finite Difference

Metode Beda-Hingga (*Finite Difference*) dilakukan setelah data seismik di-*stack*. Kecepatan yang digunakan adalah kecepatan RMS hasil analisa kecepatan yang telah mengalami proses *smoothing*. Keuntungan metode ini adalah dapat dilakukan pada data dengan rasio S/N yang rendah (data yang buruk), sedangkan kelemahannya adalah waktu komputasi yang lama dan tidak dapat meresolusi reflektor dengan kemiringan yang curam.

Migrasi ini memanfaatkan pemecahan gelombang dengan menggunakan metode numerik *finite-difference*. Metode ini sering disebut metode persamaan gelombang. Secara konsep fisik, metoda migrasi yang digunakan sama dengan metoda Kirchhoff. Konsep tersebut yaitu muka difraksi sumber gelombang kedua (titik refleksi) tersebut akan membentuk hiperbola. Perbedaannya konsep persamaan gelombang ini menggunakan pemecahan dengan cara mendekatkan bidang sumber-penerima ke arah titik refleksi. Hiperbola akan semakin tajam dan semakin sempit bila makin didekati.

METODE PENELITIAN

Terdapat beberapa tahap yang dilakukan, yaitu konversi format, analisa geometri, *preprocessing*, *post processing*, *main processing*, dan migrasi. Pada tahap *post processing* ini terdiri dari beberapa tahapan-tahapan yang akan memberikan perlakuan yang lebih spesifik terhadap data seismik yang telah dilakukan *main processing*. Pada umumnya tahap *post processing* dilakukan sebelum tahap migrasi atau umum disebut sebagai tahap persiapan memasuki tahap migrasi. Tahapan ini bertujuan untuk mengubah / memperbaiki trace, mengembalikan kembali energy gelombang seismik yang hilang. Dalam *post processing* dilakukan dekonvolusi setelah *stack* yang bertujuan untuk menekan *noise* koheren.

Tahap migrasi ini dilakukan dengan cara memasukkan data dari hasil *post processing* serta input data kecepatan pada tahap *velocity analysis* yang digunakan adalah *RMS velocity*. *Post-Stack* dilakukan setelah tahapan *stacking*, yang bertujuan untuk mengembalikan reflektor pada posisi sebenarnya sehingga penampang seismik dapat merepresentasikan kondisi geologi sebenarnya berdasarkan reflektifitas.

Pada proses ini dilakukan migrasi pada data yang telah di *stack* dengan menggunakan metode migrasi *Kirchoff* dan metode migrasi *Finite Difference*. Migrasi metode Kirchhoff dilakukan dengan cara menjumlahkan amplitudo dari suatu titik reflektor sepanjang

suatu tempat kedudukan yang merupakan kemungkinan lokasi yang sesungguhnya, berupa kurva difraksi. Migrasi metode *finite difference* memanfaatkan pemecahan gelombang dengan menggunakan metode numerik *finite difference*. Kemudian dilakukan analisa terhadap hasil kedua macam migrasi. Serta membandingkan keduanya dengan cara melihat *apple to apple* pada penampang seismik, sehingga dapat disimpulkan migrasi manakah yang menunjukkan hasil paling baik.

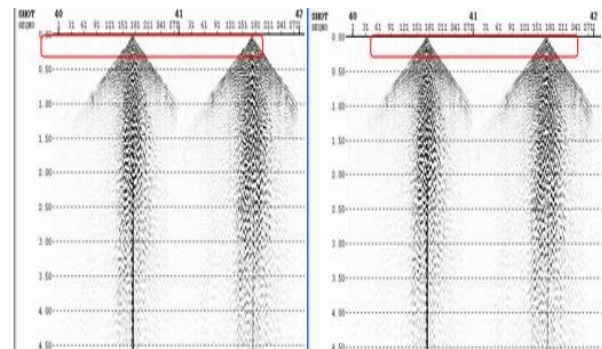
HASIL DAN PEMBAHASAN

Preprocessing

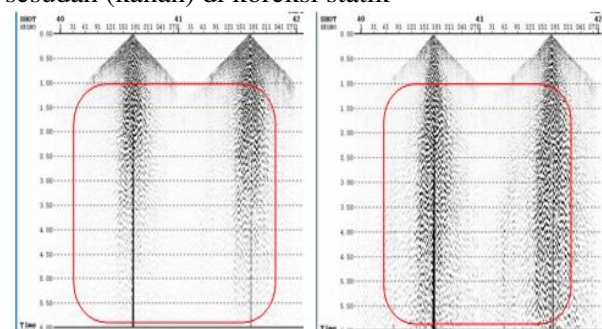
Pre processing adalah tahap awal untuk mengolah data gather yang meningkatkan *S/N ratio*. Tidak ada ketentuan baku dalam menentukan modul yang dimasukkan namun sebaiknya *flow processing* disesuaikan dan diperhatikan efektivitasnya[8]. Tahapan *pre-processing* yang digunakan adalah koreksi statik, *spherical divergence correction*, filter, pelemahan *groundroll*, *amplitude balancing*, *time-frequency filter*.

Koreksi statik (Gambar 5) dilakukan untuk menghilangkan pengaruh topografi terhadap sinyal-sinyal seismik yang berasal dari lapisan pemantul. Topografi permukaan tanah yang umumnya tidak rata akan mengakibatkan bergesernya waktu datang sinyal-sinyal refleksi dari waktu yang diharapkan[3].

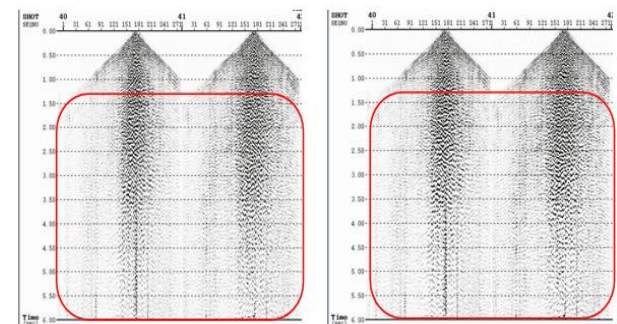
Adanya variasi lateral amplitudo dari sinyal membawa banyak informasi yang berguna, karena adanya efek *spherical divergence* semakin dalam medium yang dilewati gelombang seismik akan membuat amplitudo gelombang seismik semakin rendah. Hal ini terjadi karena medium-medium yang dilewati gelombang seismik menyerap energi gelombang seismik[1]. Untuk mengoreksi pelemahan amplitudo ini maka dilakukanlah proses *spherical divergence correction* (Gambar 6). Koreksi ini akan membuat amplitudo pada waktu rendah dan waktu tinggi menjadi seimbang dan menghilangkan efek *spherical divergence*.



Gambar 5. *Gather* sebelum (kiri) dan *gather* sesudah (kanan) di koreksi statik



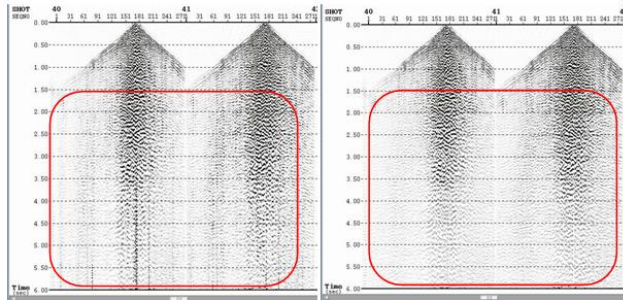
Gambar 6. *Gather* sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dilakukan proses *spherical divergen correction*



Gambar 7. *Gather* sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dilakukan pelemahan *groundroll*

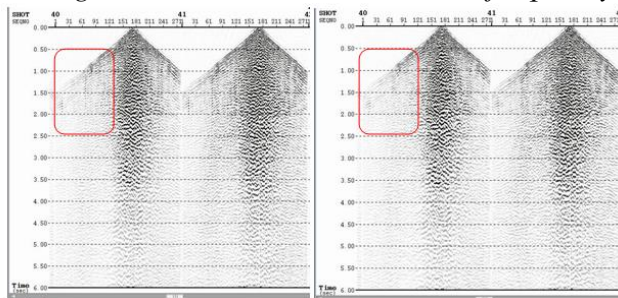
Untuk mendapatkan rasio *S/N* yang baik, maka *noise-noise* yang terdapat pada data harus dihilangkan, salah satu caranya dengan *filtering* (Gambar 7). Jenis filter yang digunakan pada *preprocessing* ini adalah trapezoidal filter, dimana frekuensi yang berada di bawah frekuensi *cut-off* bawah akan difilter, frekuensi yang berada di atas frekuensi *cut-off* atas akan difilter, sedangkan frekuensi diantara keduanya akan dilewatkan.

Untuk menghilangkan *noise* dan menyeimbangkan amplitudo yang berbeda (*anomalously high amplitudes*) tersebut maka dilakukanlah *amplitude balancing* (Gambar 8). *Amplitude balancing* akan mengurangi anomaly amplitudo tersebut sehingga menjadi seragam dengan amplitudo *event* seismik pada *trace* disekitarnya[8].



Gambar 8. *Gather* sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) *amplitudo balancing*

Time-frequency filtering berbeda dengan *amplitude balancing* yang bekerja berdasarkan perbedaan amplitudo, pada *time-frequency filtering* dilakukan dalam domain *time-frequency*.



Gambar 9. *Gather* sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dilakukan tahap *time-frequency filtering*.

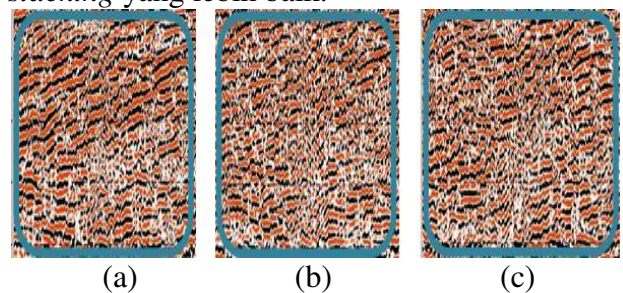
Main Processing

Pada *main-processing* ini, dilakukan beberapa proses inti seperti analisa kecepatan I, koreksi residual static I dan analisa kecepatan II. Dalam tahapan analisa kecepatan I bertujuan untuk memprediksi kecepatan gelombang seismik untuk menentukan kedalaman, ketebalan, dan kemiringan dari suatu reflektor.

Hasil *brute stack* masih kurang baik disebabkan kecepatan yang digunakan dalam proses NMO masih belum sempurna. Ketidaktepatan ini dapat terjadi karena CDP

gather masih terpengaruh oleh residual statik. Untuk mengkoreksinya maka dilakukanlah koreksi residual statik I. Koreksi statik sisa dilakukan pada data CDP *gather* yang telah terproses sehingga nantinya pada saat *stacking* data reflektivitas sinyal menjadi lebih kuat dan reflektor yang terputus diharapkan dapat menyambung kembali.

Untuk mendapatkan hasil lebih baik analisa lanjutan diperlukan yaitu analisis kecepatan II. Proses analisa kecepatan II hampir sama dengan analisa kecepatan I, hanya saja CDP *gather* yang diinputkan merupakan CDP *gather* yang sudah mendapatkan koreksi residual statik I. Analisa kecepatan II dilakukan untuk mendapatkan kecepatan yang lebih tepat daripada kecepatan yang dihasilkan dari analisa kecepatan I sehingga akan mendapatkan hasil *stacking* yang lebih baik.



Gambar 10. (a) *Stack* analisa kecepatan I (b) *Stack* koreksi residual static I (c) *Stack* analisa kecepatan II.

Post Processing

Deconvolution Setelah Stack

Berbeda dengan dekonvolusi sebelum *stack* yang peranannya lebih banyak diarahkan untuk membentuk sinyal dan meningkatkan resolusi data seismik, teknik-teknik dekonvolusi setelah *stack* dimaksudkan untuk menekan *noise* yang koheren. *Noise* koheren adalah sinyal seismik juga, akan tetapi lintasan penjalarannya melalui jalan yang tidak seharusnya, jadi tidak sebagaimana halnya dengan pantulan-pantulan primer[3]. Parameter yang digunakan untuk tes parameter dekonvolusi adalah gap atau prediksi waktu tunda. Prediksi waktu tunda (gap) filter ini

diperkirakan dari selisih waktu tiba rambatan gelombang pantul utama (primer) terhadap waktu tiba rambatan gelombang multiplanya dimana filter ini memiliki efek mereduksi amplitude multiple[5]. Besarnya gap yang digunakan pada penelitian ini adalah gap 24, 32, dan 64 hasilnya ditunjukkan pada gambar 11

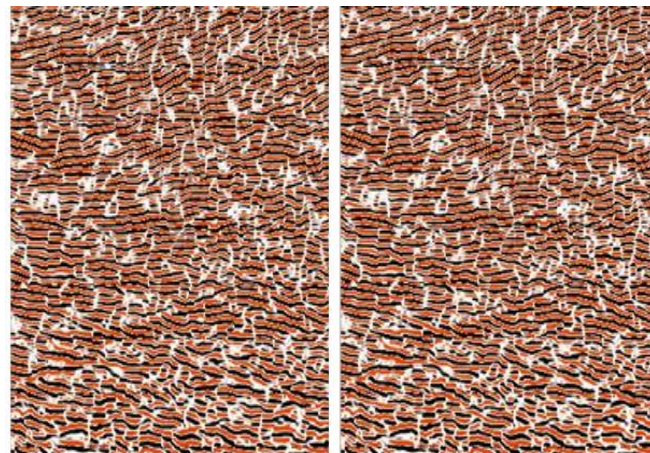


Gambar 11. Dekonvolusi setelah *stack* dengan gap 24 (a) gap 32 (b) dan gap 64 (c)

Post- Stack Time Migration

Migrasi dilakukan untuk mengembalikan reflektor pada posisi sebenarnya sehingga penampang seismik dapat merepresentasikan kondisi geologi sebenarnya berdasarkan reflektifitas lapisan bumi. Ketidaktepatan posisi reflektor terjadi akibat efek difraksi ketika gelombang seismik mengenai ujung struktur geologi seperti lipatan dan patahan. Migrasi akan meng-collapse efek difraksi *bowtie* sehingga akan menjadi struktur yang lebih jelas. Migrasi juga akan membuat amplitudo refleksi menjadi optimal.

Migrasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *post stack time migration* yaitu proses migrasi setelah *stacking* pada domain waktu, sedangkan metode yang digunakan adalah metode *finite difference* dan metode Kirchhoff. Masukan yang digunakan pada tahap migrasi adalah *stack* dari tahapan *post processing* yang sudah dikenai tahap *deconvolution* setelah *stack*, filter berdasarkan variasi waktu, dan pelemahan *random noise*. Gambar 12 menunjukkan *stack* dengan migrasi *finite difference* dan migrasi Kirchhoff. Berdasarkan analisa reflektor menunjukkan bahwa migrasi dengan metode Kirchhoff menunjukkkan kemenerusan reflektor lebih jelas daripada metode *finite difference*.



Gambar 12. *stack* dengan migrasi *finite difference* (kiri) dan *stack* dengan migrasi Kirchhoff (kanan)

KESIMPULAN

Secara umum, beberapa hal yang dapat disimpulkan dari proses pengolahan data menggunakan *software Echos 1.0.1* dari **Paradigm Geophysical Inc** adalah telah didapatkan penampang seismik dengan *signal to noise ratio* tinggi dengan parameter gap pada tahap dekonvolusi setelah *stack* yang sesuai yaitu gap 32. Berdasarkan hasil perbandingan antara *Post Stack Time Migration* dengan metode migrasi *finite difference* dan migrasi Kirchhoff, menunjukkan bahwa reflektor pada penampang seismik *Post Stack Time Migration* dengan metode migrasi Kirchhoff menunjukkan kemenerusan yang lebih baik daripada migrasi *finite difference*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Muhammad Fahmi S.Si, Mas Anjar, Mas Arsyid, Pak Eri atas ilmu tentang *seismic data processing*. Serta seluruh pihak yang telah membantu, yang tidak bias disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gadallah, M.R.,1994, *Reservoir Seismology: Geophysics in Nontechnical*

Language, Tulsa, Oklahoma: Pennwell Books

- [2] Juwita, S., 2001, Penerapan Metode Prestack Depth Migration Pada Data Multiline 2-D Di Lapangan Elang South, *Skripsi*, Prodi Geofisika Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [3] Munadi, S., 2002, *Pengolahan Data Seismik Prinsip dasar dan Metodologi*, Program Studi Geofisika Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Indonesia, Depok.
- [4] Murdianto, B., 2009. *Workshop Pengolahan Data Seismik Menggunakan SU, volume 1:Reformat Data- Dekonvolusi*, ITB, Bandung.
- [5] Sismanto, 1996, *Modul 2: Pengolahan Data Seismik*, Prodi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [6] Sukmana, A, 2014, Migrasi Finite Difference dan Kirchhoff pada Data Seismik Refleksi 2D, *Skripsi*, Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- [7] Sukmono, S., 1999, *Interpretasi Seismik Refleksi*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [8] Yilmaz, O. 1987. *Seismic Data Analysis Volume 1 (Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data)*. SEG.Tulsa-UK.